Radio Nederland

COURS DE SPECTRE DES FREQUENCES RADIOELECTRIQUES

Jim Vastenhoud

B.P. 222
1200 JG Hilversum
Pays-Bas

Traduction: Eric Beauchemin, Huguette Soumoy
Mise en page: Jaime Báguena García
Imprimerie: Huisdrukkerij Radio Nederland Wereldomroep

Toute reproduction, par quelque procédé que ce soit, faite sans l'autorisation préalable de cette station est strictement interdite.

Radio Nederland Wereldomroep
Copyright © 1988

Introduction

La répartition du spectre et l'allotissement des fréquences sont le fruit de beaucoup de conférences internationales, destinées à ajuster l'utilisation des fréquences à la technologie actuelle. Les dernières modifications sont le résultat de la WARC - la Conférence administrative mondiale des radio-communications - tenue à Genève en Suisse en 1979. Ces modifications sont entrées en vigueur en 1982 et ce cours en fait mention.

Les détails au sujet de l'allotissement des fréquences se trouvent dans la publication de l'UIT (l'Union internationale des télécommunications) le *Règlement des radiocommunications.*

A la fin de ce cours, vous trouverez les réponses aux questions posées à la fin des leçons. Vous pourrez ainsi vérifier vos réponses.

Si vous avez des suggestions à proposer, n'hésitez pas à nous les communiquer.

Hilversum, août 1988

Radio Nederland
Département Afrique
Boîte Postale 222
NL-1200 JG Hilversum
Pays-Bas

1 L'évolution des télécommunications - la Télégraphie

Depuis les temps immémoriaux, les hommes ont éprouvé le besoin de communiquer à des distances supérieures à celles de la portée de la voix. Des exemples sont les signaux de fumée et les tam-tams des peuples primitifs, ainsi que le pigeon messager. A l'époque où l'électricité n'existait pas, les gens devaient dépendre des moyens sonores ou visuels pour communiquer.

Le besoin de contacts plus rapides et plus sûrs est devenu très important pour la France à la fin du 18ème siècle lorsque le pays se trouvait menacé de plusieurs côtés. C'est alors que le gouvernement s'est rendu compte de la nécessité d'une information plus rapide. Par conséquent, le sémaphore, l'invention de Claude Chappe, venait à point.

L'idée de Chappe consistait à établir la communication avec un système de signaux optiques à l'aide d'un engin mobile en bois composé d'un faisceau horizontal, avec un faisceau vertical à chaque extrémité. En modifiant les positions relatives de ces trois pièces mobiles, il était possible de transmettre des messages d'un point à un autre, à condition bien sûr que les tours sur lesquelles les sémaphores étaient placés se trouvent dans le champ mutuel de vision. Après avoir réalisé plusieurs essais fructueux en 1790, le gouvernement français demandait à Chappe de construire la première liaison de communication sémaphorique entre Paris et Lille, une distance de 230 kilomètres. L'expérience était concluante, et 50 ans plus tard, la France s'était dotée de plus de 500 stations de sémaphore.

Entre-temps, l'électricité faisait son apparition, d'abord sous la forme du type statique à haute tension et ensuite, sous forme de pile électrique, aussi connue comme électricité à "basse pression", développée par l'Italien Alessandro Volta. Les Anglais William Cooke et Charles Wheatstone développaient un télégraphe basé sur le principe du galvanomètre: une déviation dans n'importe quelle combinaison de deux des cinq aiguilles du galvanomètre indiquait une lettre de l'alphabet. Ce télégraphe était utilisé par les chemins de fer. Il suscitait beaucoup d'intérêt surtout quand il était utilisé pour avertir la police de Londres de la présence dans un train d'une personne accusée de meurtre (1845).

Pendant ce temps-là aux Etats-Unis, Samuel Morse et Alfred Vail élaboraient un système différent, basé sur des points et des traits. Chaque fois qu'un courant passait par un électro-aimant, il faisait dévier un crayon qui inscrivait des marques sur une bande de papier en mouvement. L'alphabet était codé dans des combinaisons d'un maximum de 4 points et traits. Morse, qui était peintre, avait développé le code qui porte son nom et Vail le système mécanique.

La première ligne télégraphique réalisée par Morse et Vail reliait Washington et Baltimore et était inaugurée en 1845. Le grand intérêt des journaux pour le nouveau système de communications donnait un coup de pouce considérable au développement du fil télégraphique aux Etats-Unis. Les fils télégraphiques rapidement commençaient à relier des pays; au milieu du 19ème siècle, la distribution de nouvelles à travers l'Europe était possible et en 1858 le premier câble transatlantique reliant Valence en Irlande et Trinity Bay en Terre-Neuve était inauguré. Cependant, il n'a fonctionné que pendant un mois car un télégraphiste a eu l'idée

"géniale" d'exposer la ligne à une tension électrique de 2000 volts!

L'utilisation de différents systèmes de télégraphie et la suppression des frontières rendaient nécessaire une sorte de collaboration internationale. C'est en 1849 que le premier traité international était signé entre la Prusse et l'Autriche. Il était suivi par beaucoup d'autres initiatives. En 1852, les Pays-Bas s'affiliaient à l'union télégraphique. Mais ce n'est qu'en 1865 que la première Conférence télégraphique internationale se tenait à Paris. 20 délégués créaient l'Union télégraphique internationale, et ils acceptaient le "franc d'or" comme unité monétaire et établissaient une unification des tarifs. Ils adoptaient aussi le code télégraphique morse pour toutes les lignes internationales.

Après avoir réalisé un réseau de lignes télégraphiques qui reliaient les continents, de nouveaux moyens de communication étaient développés. En 1860, c'est l'Allemand Johann Reis qui inventait un microphone rendant possible l'introduction du téléphone, tandis que le Français Emile Baudot développait un code de 5 unités, basé sur des impulsions électriques, permettant la communication entre machines télétypes (télégraphe multiple imprimeur).

Il faut signaler encore un fait dans cette étape: à la deuxième conférence de l'Union télégraphique internationale (UTI) à Vienne, on décidait de créer un bureau permanent à Berne en Suisse. En 1948, le siège de l'UIT était transféré à Genève.

2 L'évolution des télécommunications - la Radio

La radio n'est pas l'invention d'un seul homme; c'est la succession de développements scientifiques auxquels ont contribué plusieurs physiciens connus.

En 1888, l'Allemand Heinrich Rudolph Hertz produisait les "ondes hertziennes" qui se comportent plus ou moins de la même façon que les ondes lumineuses, mais qui ont une longueur d'onde beaucoup plus grande.

La prochaine contribution importante à la radio était sans doute celle de l'Anglais Oliver Joseph Lodge qui en 1896 développait un circuit résonant. Cependant, les contributions de l'Italien Guglielmo Marconi étaient encore plus significatives. Ses premières recherches sur la radio étaient patronnées par son père. Marconi effectuait ses premières transmissions d'essai en 1895 et il continuait à être le promoteur le plus énergique de la radio pendant toute sa vie. Marconi utilisait un transmetteur à étincelles et un cohéreur pour la réception. Pendant ses premiers essais, il faisait voler un cerf-volant pour supporter l'antenne. Il réalisait des essais de propagation sur des distances de plus en plus importantes, le plus spéctaculaire étant son premier contact le 12 décembre 1901, lorsqu'il recevait la lettre morse "s" (trois points) à Saint-Jean, Terre-Neuve. La transmission provenait de Poldu en Cornouailles en Angleterre sur une fréquence de 328 kHz approximativement. (En raison de la grande largeur de bande des transmetteurs à étincelles, il était impossible d'établir la fréquence exacte.)

Le développement de la diode à vide en 1904 par l'Anglais John Fleming (qui était conseiller pour les Industries Marconi et la Compagnie Edison de Lumière Electrique) était un grand pas

en avant. Cependant, le développement de la soupape triode, dans laquelle le courant d'électrons peut être réglé par un électrode de contrôle (grille) situé entre les deux électrodes d'une diode, était encore plus importante. L'Américain Lee de Forest construisait sa première triode en 1906. A partir de ce moment, la radio se développait rapidement, mais elle progressait principalement en mer, où le besoin de communications sans fil se faisait sentir davantage. L'intérêt du public pour la radio était suscité par trois incidents produits respectivement en 1909, 1910, et 1912. Le premier était une collision dans un brouillard épais. Heureusement tous les passagers du *Florida*, un navire avec des émigrants italiens, étaient sauvés grâce à un message radiophonique qui avait été capté par d'autres bateaux venus à la rescousse. En 1910, un criminel notoire anglais était arrêté grâce au captaine du bateau qui avait des soupçons à son égard et radiotélégraphiait son signalement. C'est ainsi que la police pouvait l'appréhender à son arrivée au port.

La plupart d'entre vous connaissent le naufrage du *Titanic*, le transatlantique infortuné qui a heurté un iceberg pendant son premier voyage en 1912, après avoir négligé un avertissement radiotélégraphique d'un autre navire. La moitié des passagers du *Titanic* y ont perdu la vie. 710 ont pu être sauvés grâce à l'intervention d'autres navires prévenus par les signaux de SOS et CQD (venez rapidement, danger) du paqueboat sinistré.

Au début de la radio, quand l'utilisation de transmetteurs n'était pas encore réglementée, tout le monde utilisait son propre système. La communication de navire à navire utilisant des systèmes différents n'était généralement pas permise, en partie pour des raisons de compétition. Par ailleurs, l'augmentation du nombre de transmetteurs à étincelles créait des problèmes: un navire qui faisait fonctionner son transmetteur risquait des interférences avec tous les bateaux dans un rayon de 60 milles.

En 1912, le spectre des fréquences était très simple et, de ce fait, limité aux fréquences en-dessous des 2 MHz (150 mètres de longueur d'onde et plus). Les utilisateurs des fréquences étaient principalement les navires et les stations côtières, tandis que les radiophares, les signaux horaires, et les bulletins météorologiques constituaient de "nouveaux services" auxquels on avait attribué des fréquences pendant la conférence radiotélégraphique de l'Union télégraphique internationale de Londres en 1912.

Néanmoins, les fréquences n'étaient pas le principal souci de cette conférence: davantage d'attention était consacrée à l'introduction de dispositifs de sécurité. On décidait par exemple de consacrer 10 minutes toutes les heures à l'écoute de signaux de détresse. De plus, la communication de navire à navire, employant ou n'employant pas des systèmes différents, a été rendue obligatoire. Par ailleurs, l'envoi de télégrammes par des stations côtières était reglementé. La radio publique, ou la radiodiffusion comme nous l'appelons aujourd'hui, n'existait toujours pas.

› Citez quelques noms importants dans l'évolution de la radio.

› Où la communication sans-fil a-t-elle été employée pour la première fois?

3 Le développement de la télécommunication et la coopération radiophonique internationale

En 1906, la première Conférence radiotélégraphique internationale se tenait à Berlin. Des représentants de 30 états y participaient, établissant une série de *Règlements des radio-communications*. Ce livre, bien qu'il soit beaucoup plus élargi, continue à exister aujourd'hui. Il constitue encore le manuel indispensable pour toute personne en activité dans le domaine technique ou exécutif de la radiodiffusion.

On y décidait que le bureau de l'Union télégraphique internationale à Berne enregistrerait les fréquences utilisées. La communication diffusée par radio était autorisée dans le service maritime sur 500 et 1000 kHz (600 et 300 mètres, respectivement), alors que les fréquences inférieures à 188 kHz étaient attribuées à la communication à longue distance par les stations côtières. La bande entre 188 et 500 kHz était attribuée aux stations militaires et navales et était interdite aux autres.

La deuxième Conférence radiotélégraphique se tenait à Londres en 1912 et attribuait aux radiophares "toute" fréquence supérieure à 2000 kHz, tandis que les bulletins météorologiques et les stations de signal horaire étaient contraints à utiliser les fréquences inférieures à 188 kHz.

En 1927, une autre Conférence radiotélégraphique internationale de l'UTI se tenait à Washington. Elle est considérée comme ayant été très importante car il s'agissait de la première conférence de télécommuncations modernes du genre de celle que nous connaissons de nos jours. 80 pays y étaient représentés. On assignait des fréquences aux nouveaux médias: la radiodiffusion et les services aéronautiques. Le CCIR (Comité consultatif international des radiocommunications) était établi, formé par des groupes d'experts des pays membres. Leur tâche était de faire face à la demande croissante et aux rapides progrès technologiques.

La division des fréquences disponibles, ou autrement dit l'allotissement* des fréquences, était un des principaux accomplissements de cette conférence. Le spectre radio était fixé entre une gamme de 10 kHz et 60.000 kHz (60 MHz) qui comprenait aussi la gamme des ondes courtes (3 - 30 MHz). Dès lors, commençait l'interminable bataille pour les fréquences. Les revendications contradictoires de plusieurs utilisateurs nationaux, et des questions de priorité de fréquences, obligeaient à des divisions de fréquences sur une base régionale plutôt que mondiale. En dépit de cela, des progrès de grande portée étaient réalisés.

En 1932, lors d'une conférence à Madrid, était créée l'Union internationale des télé-communications, dénomination qui comprend aussi bien la "télégraphie" que la "radio".

Au fur et à mesure que la demande d'espace dans le spectre radio augmentait, l'allotissement des fréquences devenait de plus en plus difficile, et des compromis devaient être faits. Ces

**N.B. L'UIT emploie le mot "attribution" pour la distribution des fréquences aux services, le mot "allotissement" pour la distribution des fréquences aux régions ou aux pays, et le mot "assignation" pour la distribution des fréquences aux stations.*

problèmes se faisaient ressentir à la Conférence du Caire en 1938 où il y avait de nouvelles demandes et de nouvelles attributions. D'où l'existence des "bandes tropicales de radiodiffusion" (2300 - 2500 kHz, 3300 - 3500 kHz et 4770 - 4965 kHz), tandis que la gamme de 7200 - 7300 kHz (41 mètres) était assignée à la radiodiffusion et aussi aux radioamateurs. Par ailleurs, la gamme de 25,6 - 26,1 MHz (11 mètres) était ajoutée aux bandes de radiodiffusion en ondes courtes, tandis que la gamme de 28 - 30 MHz était reservée uniquement aux radioamateurs. La gamme entre 30 et 200 MHz était allotie principalement à l'échelle régionale, car la télévision avait fait son apparition. Par ailleurs, une partie de cette bande était attribuée à l'aéronautique, au radiosondage, aux radioamateurs, et aux services fixes et mobiles.

Après la Deuxième Guerre Mondiale, la coopération internationale était plus nécessaire que jamais; le radar avait fait son apparition et les limites du spectre radio étaient étendues aux ondes décimétriques et centimétriques. La Conférence de plénipotentiaires et des radiocommunications d'Atlantic City (Etats-Unis) accueillait 600 délégués de 71 pays en 1947. Les principaux thèmes de cette conférence étaient les problèmes dans les bandes d'ondes courtes, surtout en raison de l'énorme extension de la radiodiffusion et de la radio aéronautique pendant la guerre. De plus, des fréquences dans la partie inférieure du spectre radio devaient être attribuées aux systèmes de navigation maritime, tel que Loran (aide à la navigation à grande distance).

Cependant, le plus important résultat de la Conférence d'Atlantic City était la création du Comité international d'enregistrement des fréquences (IRFB - *International Frequency Registration Board*) composant et tenant à jour un *Fichier de référence international des fréquences*. La limite supérieure des allotissements des fréquences était déplacée à 40.000 MHz (40 Gigahertz - GHz). En résultait une subdivision universelle du spectre radio (voir l'appendice). Une table d'indicatifs d'appels internationaux pour identifier les stations de radio était ajoutée au *Règlement des radiocommunications*. Par ailleurs, le monde était divisé en trois "Régions" de radio, dans lesquelles on rassemblait les allotissements qui ne pouvaient pas être faits à l'échelle mondiale.

Les fréquences de 500 à 2182 kHz étaient réservées pour les appels de détresse. *Mayday* (du français "m'aider") devenait le signal de détresse radiotélégraphique.

De plus, des fréquences étaient attribuées à de nouveaux services: stations experimentales, services de repérage par radio, services météorologiques, services médicaux, etc., et les fréquences étalon étaient choisies: 20, 2500, 5000, 10.000, 15.000, 20.000 et 25.000 kHz.

A la Conférence d'Atlantic City surgissait la menace de la surcharge des bandes de radiodiffusion en ondes courtes, surtout pendant les périodes de faible activité solaire. Les demandes faites par beaucoup de pays dépassaient largement leurs possibilités de transmission. Etant donné que le spectre radio n'était pas encore utilisé d'une façon efficace, de graves problèmes devaient en découler. Ultérieurement, aux conférences de Mexico et de Buenos Aires, cette planification de la radiodiffusion en ondes courtes à long terme ne parvenait pas à être homologuée.

A la Conférence de l'UIT à Genève en 1959, le chaos complet paraissait inévitable. C'est ainsi qu'on optait pour quatre *horaires saisonniers*. Toutes les stations de radiodiffusion en ondes courtes des pays membres devaient présenter leur prévision d'emploi des fréquences.

C'est en 1979 que se tenait à Genève la dernière conférence de l'UIT, où il était question de tout le spectre radio. Les bandes existantes étaient modifiées dans les fréquences basses pour accommoder les services aéronautiques et la radiodiffusion en ondes courtes qui étaient en pleine expansion. En Europe, la gamme de 100 - 108 MHz était assignée à la radiodiffusion VHF (FM - modulation de fréquence) et des dispositions étaient prises pour le service de radiodiffusion par satellite (radiodiffusion sonore et télévision).

D'autres conférences et d'autres études sont toujours nécessaires pour éviter le chaos dans l'attribution des bandes qui souffrent d'une surcharge constante alors que les télécommunications sont de plus en plus indispensables.

Appendice:

La radiodiffusion a lieu dans les bandes d'ondes longues (OL), ondes moyennes (OM, radiodiffusion normale), ondes courtes (OC), et ondes ultra-courtes aussi appelées VHF (Très hautes fréquences). La radiodiffusion en VHF s'effectue généralement en modulation de fréquence (FM), tandis que la modulation d'amplitude (AM) est employée dans les bandes de fréquences élevées, fréquences moyennes et fréquences basses. La télédiffusion a lieu dans les bandes de fréquences très hautes et ultra hautes.

Les termes et les abréviations mentionnés ci-dessous seront expliqués en détail par la suite.

Gamme de fréquences			Subdivision des fréquences d'Atlantic City		Notes
3 - 30	kHz		VLF	Très basses fréquences	
30 - 300	kHz		LF	Basses fréquences	
300 - 3000	kHz		MF	Fréquences moyennes	
3000 - 30.000	kHz		HF	Hautes fréquences	les fréquences supérieures à 30.000 kHz sont indiquées en MHz
30 - 300	MHz		VHF	Très hautes fréquences	
300 - 3000	MHz		UHF	Ultra hautes fréquences	
3000 - 30.000	MHz		SHF	Hyper-fréquences	les fréquences supérieures à 30.000 MHz sont indiquées en GHz
30 - 300	GHz		EHF	Fréquences extrêmement hautes	
300 - 3000	GHz			(ondes décimillimétriques)	

› Citez les décisions importantes prises à la Conférence d'Atlantic City.

4 Le Comité international d'enregistrement des fréquences (IFRB)

Un des problèmes les plus difficiles que l'Union internationale des télécommunications devait résoudre concernait l'assignation, l'enregistrement, et la répartition des radiofréquences. Ce problème avait déjà été constaté à la première Conférence radiotélégraphique qui s'était tenue à Berlin en 1906. Suite à la décision prise à la Conférence de Washington en 1927, le Bureau de l'UIT à Berne en Suisse devait être averti lorsqu'un nouvel émetteur commençait à transmettre, ainsi que de l'utilisation de sa fréquence, et des caractéristiques techniques qu'il employait. On inaugurait la Liste de Berne, connue officiellement comme la *Liste internationale des fréquences*. La Deuxième Guerre Mondiale étant terminée, la Conférence d'Atlantic City avait lieu et on découvrait que 45.000 notifications en-dessous des 20 MHz figuraient dans la Liste de Berne et que de nombreuses stations utilisaient des fréquences qui n'avaient jamais été notifiées. Il était donc nécessaire de créer un organisme qui pourrait surveiller les notifications et qui pourrait tenter d'éviter les interférences avec les services déjà existants. C'est-à-dire le Comité international d'enregistrement des fréquences (IFRB), composé de onze experts de radio, chacun avec une nationalité différente, nommés par les pays respectifs et choisis en fonction d'une répartition géographique équitable. La première tâche de cette nouvelle organisation était la préparation d'une nouvelle *Liste internationale des fréquences*.

Les activités du Comité dans le domaine de la radiodiffusion en ondes courtes étaient décidées au cours d'une série de conférences. Les difficultés étaient marquées par l'instabilité de la cpropagation des fréquences élevées, variant selon le jour ou la nuit, la saison, et l'activité solaire. Un groupe d'experts, ainsi que des membres de l'IFRB, tentaient de dresser une nouvelle liste de fréquences. En raison de l'énorme nombre de revendications pour les fréquences, le plan n'était pas acceptable pour certains membres. Aussi était-il décidé à la Conférence de Genève en 1951 que l'IFRB élaborerait des plans sur une période de 11 ans pour les services de radiodiffusion à ondes décamétriques (en hautes fréquences - HF) en fonction des nouvelles exigences, éliminant ainsi les revendications de fréquences qui avaient été notifiées mais qui n'étaient plus utilisées. En dépit de l'énorme quantité de travail réalisé pendant les années 50, les projets n'obtenaient pas l'approbation de la Conférence de Genève en 1959, surtout ceux qui se rapportaient aux conditions de faible activité solaire, lorsque les conditions de propagation réduisent sérieusement l'utilisation des bandes plus élevées du spectre des ondes courtes.

Pendant cette conférence, les Etats-Unis suggéraient que l'IFRB élabore périodiquement des listes de fréquences qui seraient réellement utilisées par les stations d'ondes courtes. L'IFRB pourrait ensuite présenter l'*Horaire provisoire de radiodiffusion à ondes décamétriques* sur la situation prévue, et des *Plans de radiodiffusion à ondes décamétriques* à la fin de chaque horaire saisonnier. Ce système, qui est toujours employé, est une méthode de planification à court terme, et très différent du système de planification à long terme qui avait été tenté sans succès avant 1959.

Après un cycle solaire complet, il est maintenant possible d'élaborer une liste en fonction de données réelles de transmission. Par conséquent, les stations peuvent revendiquer la protection internationale des fréquences.

Quel est le résultat pratique pour l'auditeur des ondes courtes? En premier lieu, les modifications de fréquences dues aux variations saisonnières ont lieu le premier dimanche de mars, de mai, de septembre, et de novembre. En second lieu, l'utilisation réelle des fréquences est maintenant canalisée, et l'IFRB peut faire des suggestions en cas d'éventuel brouillage. Avec plus de 600.000 fréquences dans le *Fichier de référence international des fréquences*, le brouillage est sans doute inévitable. L'effort en commun peut le réduire au maximum.

Référence:
Les premières quatre leçons de notre *Cours de spectre des fréquences radioélectriques* ont été élaborées avec des données tirées du livre centenaire de l'UIT *Du Sémaphore au Satellite*.

5 Services de Radiocommunication

Dans les premières quatre leçons de ce cours, nous avons suivi l'évolution des télécommunications jusqu'à nos jours. Les conférences internationales des radiocommunications qui ont été tenues jusqu'à présent ont formé la situation actuelle ainsi que la répartition des fréquences pour les divers utilisateurs. Examinons de plus près ces utilisateurs ou pour employer le terme officiel, ces "services de radiocommunication".

Service fixe: le service de radiocommunication entre points fixes sur la Terre. Beaucoup de services d'émetteurs fixes sont gérés et contrôlés par les services nationaux de télécommunications et ils fournissent des liaisons de radiocommunication avec des stations similaires à l'étranger. Leur but est de maintenir des circuits de téléphonie ou de télégraphie (entre autres fac-similé, télétype, etc.). Les allotissements des fréquences pour les services fixes se trouvent dans presque toutes les gammes. De nos jours, la plupart des services fixes opèrent à travers des satellites de communication qui se trouvent sur orbite géostationnaire.

Service mobile: le service de radio entre stations mobiles et terrestres, ou uniquement entre stations mobiles. Il y a trois genres de stations mobiles: les stations mobiles *terrestres* (armée, taxis, etc.), mobiles *maritimes* (navires et diverses structures érigées dans la mer), et mobiles *aéronautiques*. Toute station mobile peut fonctionner avec une station terrestre (station côtière, aéroport) faisant partie du même service. Les embarcations de sauvetage sont généralement considérées comme appartenant au service qui les utilise.

Service de radiodiffusion: un service de radiocommunication destiné à la réception *directe* par le *public en général*. Il peut inclure la diffusion sonore (radio), diffusion d'images (télévision), ou d'autres transmissions.

Service d'amateurs: le service d'enseignement personnel, d'investigations techniques, et d'intercommunications réalisés par des personnes autorisées qui s'intéressent à la radiotechnique. Tout intérêt pecuniaire est interdit.

Service de signaux horaires: il émet des signaux horaires d'une haute précision et qui peuvent être captés par n'importe quel récepteur d'AM qui possède la fréquence de la station. Généralement le service de signaux horaires est combiné avec le service de fréquence étalon, qui émet sur des fréquences spécifiques de haute précision.

Il est assez simple de résumer les autres applications de la radio: radiogoniométrie, balises de radioguidage, service de radioastronomie (pour écouter les émissions provenant des corps célestes), prévisions météorologiques, systèmes de satellites, service médical par radio, altimètres, systèmes d'atterrissage par instrument, radiorepérage, détection par radio (radar), etc. Il s'agit généralement de subdivisions d'un des grands groupes cités ci-dessus.

Comme il a été signalé auparavant, beaucoup des allotissements des fréquences ne sont pas à l'échelle mondiale. Pour satisfaire aux demandes régionales, la décision a été prise à la Conférence d'Atlantic City de diviser le monde en trois *régions*. La Région 1 comprend l'Europe, le Moyen-Orient, l'Afrique, et la partie asiatique de l'URSS. La Région 2 comprend les Amériques, et la Région 3 la plupart de la zone du Pacifique et l'Australie, l'Asie du Sud et du Sud-Est, la Chine, et le Japon. La plupart des allotissements des fréquences supérieures à 5,5 MHz sont à l'échelle mondiale, mais les gammes de fréquences plus basses peuvent montrer de nettes différences régionales.

Une *zone tropicale* a aussi été introduite. Elle comprend plus ou moins la région entre 30 degrés de latitude septentrionale et 30 degrés de latitude méridionale. Une mappemonde simplifiée, sur laquelle apparaissent les différentes régions, se trouve à la page 11.

Les allotissements des fréquences entre 10 kHz et 275 GHz se trouvent dans la publication *Règlement des radiocommunications* (Secrétariat Général de l'Union internationale des télé-communications, Genève, Suisse).

De nombreux services de radiodiffusion peuvent être syntonisés avec un récepteur. Un équipement supplémentaire doit être utilisé pour certains services qui utilisent des méthodes de modulation différentes de la norme utilisée pour les ondes courtes et moyennes. Nous reviendrons sur ce thème dans une prochaine leçon.

Appendice: 1. Régions de radio de la Terre (mappemonde)
2. Un résumé de quelques répartitions de divers services

Notes

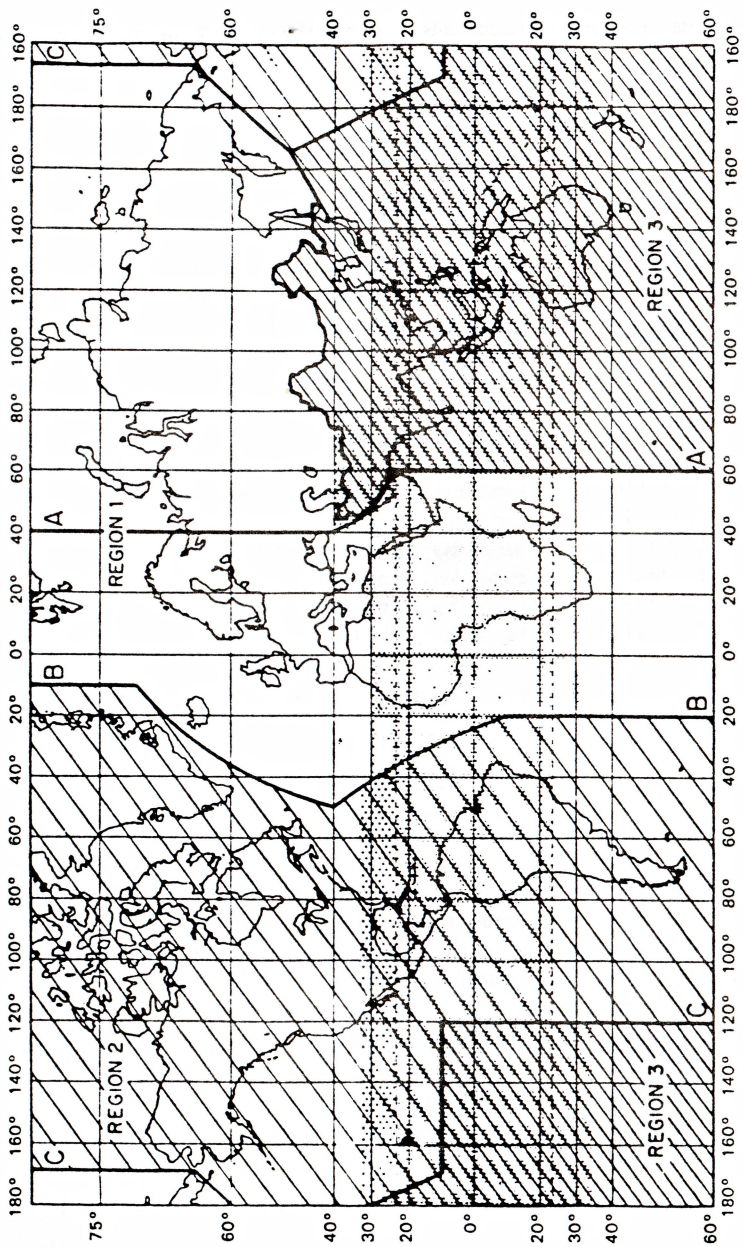
La conversion de fréquences et de longueurs d'onde est régie par la formule:

fréquences (en MHz) X longueur d'onde (mètres) = 300

Donc, une longueur d'onde de 25 mètres a une fréquence de $\frac{300}{25}$ = 12 MHz

Le préfix "k" indique "kilo" (1000), M indique "méga" (1.000.000), et G indique "giga" (1.000.000.000).

Appendice à la Leçon 5



Un résumé de quelques allotissements des fréquences pour divers services entre 1,6 et 30 MHz.

Radiodiffusion

2300	- 2498 kHz	bande des 120 mètres	}	bandes tropicales
3200	- 3400 kHz	bande des 90 mètres		
4750	- 4995 kHz	bande des 60 mètres		
5005	- 5060kHz			
3950	- 4000 kHz	bande des 75 mètres		(uniquement Régions 1 et 3)
5950	- 6200 kHz	bande des 49 mètres		
7100	- 7300 kHz	bande des 41 mètres		(uniquement Régions 1 et 3)
9500	- 9775 kHz	bande des 31 mètres		
11700	- 11975 kHz	bande des 25 mètres		
15100	- 15450 kHz	bande des 19 mètres		
17700	- 17900 kHz	bande des 16 mètres		
21450	- 21750 kHz	bande des 13 mètres		
25600	- 26100 kHz	bande des 11 mètres		

Radioamateurs

1800	- 2000 kHz	bande des 160 mètres	(uniquement Régions 2 et 3) 1810-1850 kHz dans la Région 1
3500	- 3800 kHz	bande des 80 mètres	(jusqu'à 4000 kHz dans la Région 2)
7000	- 7100 kHz	bande des 40 mètres	(jusqu'à 7300 kHz dans la Région 2)
10100	- 10150 kHz	bande des 30 mètres	(à titre secondaire)
14000	- 14350 kHz	bande des 20 mètres	
18068	- 18168 kHz		
21000	- 21450 kHz	bande des 15 mètres	
24890	- 24990 kHz		
28000	- 29700 kHz	bande des 10 mètres	

Radiodiffusion (à partir du 1er juillet 1989)

2300	- 2498 kHz	bande des 120 mètres	}	bandes tropicales
3200	- 3400 kHz	bande des 90 mètres		
4750	- 4995 kHz	bande des 60 mètres		
5005	- 5060 kHz			
3950	- 4000 kHz	bande des 75 mètres		
5950	- 6200 kHz	bande des 49 mètres		
7100	- 7300 kHz	bande des 41 mètres		
9500	- 9900 kHz	bande des 31 mètres		
11650	- 12050 kHz	bande des 25 mètres		
13600	- 13800 kHz	bande des 22 mètres		
15100	- 15600 kHz	bande des 19 mètres		
17550	- 17900 kHz	bande des 16 mètres		
21450	- 21850 kHz	bande des 13 mètres		
25670	- 26100 kHz	bande des 11 mètres		

Fréquences étalon: 2500, 5000, 10.000, 15.000, 20.000, et 25.000 kHz

Mobile Maritime - Région 1 entre 1605 et 3800 kHz

1605	- 1625	kHz		radiotélégraphie
1625	- 1670	kHz		radiotéléphonie de faible puissance
1670	- 1950	kHz		stations côtières
1950	- 2053	kHz		trafic navire à côte
2053	- 2065	kHz		trafic de navire à navire
2065	- 2170	kHz		trafic navire à côte
2170	- 2173,5	kHz		bande d'appel pour les stations côtières
2173,5	- 2190,5	kHz		fréquence internationale de détresse et d'appel en radiotéléphonie de 2182 kHz
2190,5	- 2194	kHz		bande d'appel pour les stations de navire
2194	- 2440	kHz		trafic de navire à navire
2440	- 2578	kHz		trafic navire à côte
2578	- 2850	kHz		stations côtières
3155	- 3340	kHz		trafic navire à côte
3340	- 3400	kHz	}	trafic de navire à navire
3500	- 3600	kHz		
3600	- 3800	kHz		stations côtières

Mondial

4063	-	4438	kHz	La subdivision de ces bandes est la suivante (de fréquences inférieures à supérieures):
6200	-	6525	kHz	- stations de navire, téléphonie, exploitation duplex
8100	-	8815	kHz	- stations de navire et côtières, téléphonie, exploitation simple
12230	-	13200	kHz	- stations de navire, téléphonie à large bande et fac-similé
16360	-	17410	kHz	- stations de navire, transmission de données océanographiques
22000	-	22855	kHz	- stations de navire, systèmes à bande étroite de télégraphie à impression directe et de transmission de données
				- stations de navire, télégraphie
				- stations côtières, télégraphie à bande étroite et large, transmission de données, etc.
				- stations côtières, télégraphie, exploitation duplex

Mobile aéronautique

2850	-	3155	kHz	11175	-	11400	kHz
3400	-	3500	kHz	13200	-	13360	kHz
4650	-	4750	kHz	17900	-	18030	kHz
5480	-	5730	kHz	21870	-	22000	kHz
6525	-	6765	kHz	23200	-	23350	kHz
8815	-	9040	kHz				

Fixe (bandes en exclusivité uniquement à partir de juillet 1989)

5060	-	5250	kHz	14350	-	14990	kHz
6765	-	7000	kHz	15600	-	16360	kHz
7300	-	8100	kHz	17410	-	17550	kHz
9040	-	9500	kHz	18030	-	18068	kHz
9900	-	9995	kHz	18168	-	18780	kHz
10100	-	11175	kHz	18900	-	19680	kHz
11400	-	11650	kHz	19800	-	19990	kHz
12050	-	12230	kHz	20010	-	21000	kHz
13410	-	13600	kHz	21850	-	21870	kHz
13800	-	14000	kHz	22855	-	23200	kHz

6 Les ondes longues et les bandes tropicales

Les récepteurs ne couvrent généralement pas toutes les bandes de fréquences attribuées dans le spectre radio. Ils se limitent aux bandes destinées à la radiodiffusion. Néanmoins, certains fabricants ont récemment commencé à abandonner ce principe et ils incluent d'autres bandes qui peuvent intéresser un nombre limité de personnes. Ces nouveaux récepteurs plus coûteux (et plus exclusifs) couvrent par exemple la bande aéronautique de 108 - 136 MHz, utile pour ceux qui font de l'aviation, ou la bande maritime (entre 1.600 kHz et 4.400 kHz, soit 187 - 67 mètres), tandis que d'autres récepteurs ont la bande de radiodiffusion en ondes longues qui s'étend jusqu'à la bande de radionavigation maritime (stations de radiophare jusqu'à 325 voire 415 kHz) qui permet d'écouter un voilier sur le même récepteur capable de capter les bandes de radiodiffusion.

La plus basse bande de fréquences disponible pour la radiodiffusion est la bande d'ondes longues, qui s'étend de 150 à 285 kHz, avec des longueurs d'ondes correspondant à 2000 et 1050 mètres. Les émetteurs qui utilisent cette bande se trouvent principalement en Europe - quelques exceptions sont l'Algérie, le Maroc, et la Turquie - et beaucoup de récepteurs fabriqués en Europe incluent cette bande. D'ailleurs un récepteur à deux bandes possédera la combinaison: ondes moyennes et grandes ondes, ou ondes moyennes et VHF (FM).

Les puissances de transmission dans la bande de grandes ondes (G.O.) sont généralement supérieures à 100 kW (kilowatts), avec un nombre croissant d'émetteurs dans la catégorie de 500 et 1000 kW. Etant donné que les ondes longues se propagent par l'onde de sol, la portée de l'émetteur dépend principalement de sa puissance.

Le nombre de voies dans la bande des grandes ondes est limité. Par conséquent il y a moins de 40 émetteurs fonctionnant actuellement entre 150 et 285 kHz. L'URSS utilise 10 émetteurs dans cette bande, ainsi que 9 émetteurs entre 285 et 400 kHz.

La bande de fréquences pour la radionavigation maritime (radiophares) s'étend de 285 à 315 kHz G.O. Dans les Régions 2 et 3 (la partie du monde qui exclut l'Europe, l'Afrique, et la partie asiatique de l'URSS), la bande de radionavigation maritime s'étend jusqu'à 325 kHz.

Dans la zone tropicale de la Terre, la radiodiffusion pour l'utilisation nationale intérieure est permise dans certaines bandes bien précises, à savoir:

bande des 120 mètres	2300	-	2498	kHz
bande des 90 mètres	3200	-	3400	kHz
bande des 60 mètres	4750	-	4995	kHz
	5005	-	5060	kHz

La zone tropicale figure dans la partie hachurée de la mappemonde, à la page 11. Dans le partage de ces gammes de fréquences, la radiodiffusion a priorité sur les autres services (fixe, mobile, etc.).

La principale raison de ces "bandes tropicales de radiodiffusion" spéciales, c'est qu'elles offrent la possibilité d'un service économique qui donne de bons résultats dans une région

avec un niveau élevé de bruits atmosphériques radioélectriques et une propagation plutôt difficile dans les fréquences basses et moyennes.

Les bandes des 90 et 60 mètres sont les bandes de radiodiffusion tropicale les plus populaires, aussi bien pour les stations que pour les DX'eurs. En dehors de la zone tropicale, ces fréquences sont attribuées à d'autres services, généralement les services fixes et mobiles, à l'exception du service mobile aéronautique.

Entre les bandes des 90 et 60 mètres, il y a une gamme étroite de 50 kHz entre 3950 et 4000 kHz attribuée à la radiodiffusion dans les Régions 1 et 3 (sans la restriction d'utilisation dans la zone tropicale). Néanmoins, cette bande est partagée avec les services fixes. Etant donné que beaucoup de récepteurs ne sont pas équipés de la bande des 75 mètres, elle n'est pas très populaire parmi les stations de radiodiffusion, bien qu'elle pourrait être très utile, surtout lorsqu'il s'agit de petits "bonds" pendant la période hivernale dans les régions tempérées du monde, où la bande de 6 MHz (49 mètres) est parfois trop élevée pour être captée.

› **Les "bandes tropicales de radiodiffusion" sont-elles attribuées en exclusivité?**

7 Les ondes moyennes ou la bande normale de radiodiffusion

La plus importante bande pour la radiodiffusion est sans aucun doute celle des ondes moyennes.

L'assignation mondiale s'étend de 562,5 à 1606,5 kHz. Dans la Région 2, la bande va de 525 à 1605 kHz. La fréquence inférieure, 525 kHz, est équivalente à 571 mètres, tandis que la limite supérieure, 1605 kHz, équivaut à une longueur d'onde de 187 mètres.

La répartition des stations d'ondes moyennes à l'intérieur de la bande se fait selon des règles régionales. Les stations en ondes moyennes peuvent émettre à des intervalles de 9 kHz dans les Régions 1 et 3, et à des intervalles de 10 kHz dans la Région 2. Ceci peut produire des sifflements de brouillage dans les zones où les stations de deux régions peuvent être captées simultanément.

L'onde de sol offre la couverture la plus sûre. On peut dire, en règle générale, que lorsqu'il y a une absence de brouillage et avec un émetteur relativement puissant, la couverture de l'onde de sol d'un émetteur en ondes moyennes, exprimée en kilomètres, est équivalente à sa longueur d'onde en mètres. De cette formule, on peut conclure qu'un émetteur qui fonctionne sur les 500 mètres (0,6 MHz) aura une couverture allant jusqu'à 500 kilomètres de l'antenne de transmission.

Répétons qu'il s'agit d'une règle générale; les émetteurs à haute puissance peuvent aller beaucoup plus loin, et la propagation est nettement améliorée lorsque les ondes traversent l'eau. La couverture est aussi considérablement améliorée lorsqu'une partie de la liaison passe au-dessus de l'eau.

La plupart des antennes de transmission pour les ondes moyennes sont de simples pylônes verticaux de demi-onde ou de quart d'onde, ce qui donne une couverture presque circulaire si le terrain ne montre pas d'irrégularités. Dans les endroits urbains, on emploie généralement des antennes directionnelles avec deux pylônes verticaux ou plus.

La couverture de l'onde de sol dépend de l'absorption du signal lorsqu'il entre en contact avec le sol et elle demeure pareille aussi bien pendant la journée que pendant la nuit. Les possibilités de DX sont donc limitées.

Pendant la journée, on peut considérer la propagation en ondes moyennes comme étant limitée à la propagation d'onde de sol, car l'onde réfléchie est absorbée par la couche ionosphérique D de basse altitude (60 kilomètres). Après le coucher du Soleil, cette couche se dissout rapidement, et l'absorption est facilement réduite. C'est alors que la propagation de l'onde réfléchie en ondes moyennes agit sur les signaux qui se propagent beaucoup plus loin.

D'un point de vue technique, on peut distinguer les zones suivantes de couverture régulière de l'onde réfléchie (répétons: avec une puissance raisonnable de transmission - 100 kW ou plus - et une fréquence sans brouillages):

- pour l'onde moyenne courte (1200 - 1605 kHz), une couverture nocturne d'environ 1000 kilomètres.
- pour l'onde moyenne intermédiaire (700 - 1200 kHz), une couverture nocturne d'environ 800 kilomètres.
- pour l'onde moyenne longue (535 - 700 kHz), une couverture d'onde réfléchie négligeable. Par ailleurs, le brouillage entre les ondes de sol et réfléchies du même émetteur a tendance à introduire du fading (évanouissement).

Cette division, qui est une version simplifiée des idées présentées à la conférence sur les ondes moyennes de Genève en 1974, donne une idée des caractéristiques de propagation normale d'onde réfléchie des émetteurs en ondes moyennes. Dans les régions à forte densité de population, le DX des ondes moyennes est souvent une question de patience et d'endurance: de patience, pour pouvoir attendre de bonnes conditions de propagation, et d'endurance, pour passer des nuits blanches en attendant que les émetteurs de la région aient terminé leurs émissions libérant ainsi la voie pour une station lointaine.

Pour conclure, un mot sur les courtes et rares possibilités de faire du DX en ondes moyennes pendant les périodes de transition jour-nuit et nuit-jour. Des changements rapides dans les couches ionosphériques basses produisent des phénomènes de fading qui peuvent bloquer une station proche et ainsi permettre la réception d'une station lointaine qui émet sur la même fréquence.

› **Les caractéristiques de propagation en ondes moyennes varient avec la fréquence. Citez quelques détails de la couverture diurne et nocturne des a) ondes moyennes longues; b) ondes moyennes courtes.**

8 Les bandes de radiodiffusion à ondes décamétriques (Hautes Fréquences)

La gamme de fréquences allant de 3.000 à 30.000 kHz (3 - 30 MHz, 100 - 10 mètres) est appelée la bande des Hautes Fréquences (HF). Cette partie du spectre est exceptionnelle car elle permet - à condition d'être utilisée professionnellement - une réception directe et mondiale par la propagation de l'onde ionosphérique, c'est-à-dire par des réflexions des radio ondes contre la couche ionosphérique supérieure, appelée la couche F_2. Entre les réflexions ionosphériques, le signal rebondit sur la Terre, où une partie rebondit de nouveau sur la couche F_2 qui la réfléchit.

La perte de signal se produit surtout dans les réflexions ionosphériques et terrestres et dans la pénétration de la couche D, une région à faible degré d'ionisation présente pendant la journée à une altitude d'environ 60 kilomètres au-dessus de la Terre. L'état de l'ionosphère détermine largement la fiabilité du circuit de radiocommunication en HF. L'ionisation de la couche F_2 dépend surtout de l'angle zénithal relatif au Soleil et de l'activité solaire même. C'est principalement la partie ultraviolette de la radiation solaire qui est responsable de l'ionisation de la couche F_2.

En raison des caractéristiques de propagation de la gamme HF, elle est très populaire parmi beaucoup de services. Une division du spectre radio entre 3 et 30 MHz, comme celle pour la Région 1 (qui ne montre pas de grandes différences par rapport aux autres régions), indique l'allotissement *exclusif* de l'espace du spectre radio entre les différents services:

		A partir de 1989
Services fixes:	10178 kHz	7570 kHz
Services mobiles maritimes:	3855 kHz	3825 kHz
Services mobiles aéronautiques:	1840 kHz	1630 kHz
Radiodiffusion:	2350 kHz	3180 kHz
Radioamateurs:	1600 kHz	1800 kHz
Fréquences étalon:	56 kHz	56 kHz
Radioastronomie:	20 kHz	20 kHz

D'autres services, comme les services mobiles, les bandes tropicales de radiodiffusion, et les services auxiliaires de météorologie n'ont pas été allotis en exclusivité, mais sont répartis entre d'autres services. Les services sont répartis partout dans le spectre des HF, pour leur donner la possibilité de modifier leurs grilles horaires en fonction du jour ou de la nuit, de la saison, et de l'activité solaire.

Pendant les périodes de faible activité solaire, la partie supérieure du spectre peut être presque vide, tandis qu'en-dessous des 18 MHz il y a un encombrement. Par contre, pendant des conditions de forte activité solaire, les services ont une distribution bien meilleure. Etant donné que beaucoup des services cités attirent des auditeurs, nous énumérerons certaines bandes exclusives en fin de leçon. (Notez cependant que les services de radiodiffusion sont uniquement destinés au public en général, ce qui signifie que vous ne pouvez pas "utiliser"

des renseignements captés hors des bandes de radiodiffusion.)

Pour la plupart des services, les fréquences dans les bandes sont protégées par des règles arrêtées dans l'Article 9 du *Règlement des radiocommunications*. Pour les stations fixes, terrestres, de radiodiffusion (sauf d'ondes courtes) et de fréquence étalon, la reconnaissance internationale de la fréquence et sa protection par l'UIT s'obtiennent après l'annonce qui s'impose au Comité international d'enregistrement des fréquences. La nouvelle fréquence ne sera assignée que si, après un certain temps (par exemple 60 jours), elle ne cause pas de brouillages préjudiciables à une station déjà existante. Le cas échéant, les droits les plus anciens de l'autre station prévaudront et la *Liste des fréquences de radiodiffusion à ondes décamétriques* n'acceptera pas la nouvelle fréquence.

Certaines bandes, telle que la bande des radioamateurs ou la bande mobile maritime, ont une autre procédure. Pour le service des amateurs, des fréquences fixes ne sont pas assignées à des stations. Par contre des parties de chaque bande sont assignées à certains genres de trafic, par exemple la télégraphie en ondes entretenues, la téléphonie, etc. Quant aux bandes mobiles maritimes, chaque bande est aussi subdivisée en différentes sections assignées respectivement aux stations de navire en exploitation duplex, aux stations côtières en exploitation duplex, aux stations de navire à télégraphie ou fac-similé, aux stations de navire à téléphonie, etc.

La procédure pour la notification de fréquence dans le service de radiodiffusion entre 5,9 et 26,1 MHz est arrêtée dans l'Article 10 du *Règlement des radiocommunications*. Les stations qui opèrent dans cette gamme doivent soumettre leurs plans provisoires, à travers leur administration (de télécommunications), à l'IFRB quatre mois avant le début de chaque saison. Et comme vous le savez (de la Leçon 4), il y a quatre saisons: les horaires de novembre et de mai durent chacune quatre mois, et celles de mars et de septembre durent chacune deux mois.

L'IFRB recueille les données, les introduit dans un ordinateur, et imprime les résultats dans l'*Horaire provisoire de radiodiffusion à ondes décamétriques* qui est envoyé aux divers services deux mois avant le début du plan. Des modifications peuvent encore être réalisées en cas d'éventuel brouillage, en envoyant une nouvelle notification et en annulant la précédente. Les notifications de fréquence à l'IFRB ne donnent pas de droits "historiques" à une fréquence après le jour de clôture du plan. La procédure de l'Article 10 prévoit donc uniquement une notification temporaire de fréquence. Il ne s'agit pas d'un fichier de fréquences "à long terme". Néanmoins la procédure a été efficace et a empêché un chaos quasiment total dans les bandes de radiodiffusion en ondes courtes, où environ 1500 émetteurs, avec des puissances entre 5 et 700 kilowatts, occupent moins de 400 "voies", à 5 kHz d'écart.

› Quels services occupent l'espace de fréquence le plus important dans la partie HF du spectre? Expliquez la procédure de notification de fréquence pour la radiodiffusion dans la partie des ondes décamétriques du spectre radio.

9 La gamme des fréquences entre 40 et 140 MHz; désignation de l'émission

La plupart des récepteurs ne sont pas équipés pour capter les fréquences entre 30 MHz, la limite supérieure de la bande de radiodiffusion à ondes décamétriques (HF), et 88 MHz, la limite inférieure de la gamme de radiodiffusion de VHF-FM. Toutefois, il semble être utile de signaler certaines parties intéressantes du spectre radio.

Dans la Région 1, par exemple, la gamme entre 47 et 68 MHz est attribuée à la radiodiffusion. Dans la Région 2, cet allotissement n'existe pas, alors que dans la Région 3, les fréquences entre 44 et 50 MHz sont réservées à la radiodiffusion. Dans les Régions 2 et 3, la gamme de 50 à 54 MHz (bande des 6 mètres) est attribuée aux radioamateurs (sauf dans certains pays asiatiques, en Australie et en Nouvelle-Zélande, où certaines parties de la bande ou toute la bande sont destinées aux services fixes et mobiles). N.B.: Dans certains pays de la Région 1, la bande de 50 MHz commence à être attribuée aux radioamateurs.

Au-dessus de 54 MHz dans la Région 2 (Amériques), 54 - 72 MHz, la radiodiffusion est autorisée en partage avec les services fixes et mobiles, tandis que dans la Région 3, le même accord existe pour les fréquences entre 54 et 68 MHz. Vous savez sans doute que ces fréquences sont utilisées surtout pour la télédiffusion dans ce qu'on appelle "la bande 1 de télévision VHF". Au-dessus de 70 MHz, nous trouvons la gamme de 76 - 88 MHz dans la Région 2, de nouveau impartie entre les services fixes et mobiles, alors que 88 - 108 MHz est destinée en exclusivité à la radiodiffusion.

Dans la Région 3, la bande FM ne commence pas à 88 MHz, mais à partir de 87 MHz, tandis que dans la Région 1 (Europe et Afrique), la bande commence à 87,5 MHz. La bande de 100 - 108 MHz est destinée uniquement à la radiodiffusion partout dans le monde.

Certains récepteurs possèdent la bande aéronautique entre 108 et 136 MHz. Cette bande comprend deux parties: la radionavigation aéronautique entre 108 et 118 MHz, et la bande aéronautique mobile entre 118 et 137 MHz. La partie suivante, de 137 à 138 MHz, est réservée au trafic espace vers Terre qui inclut la météorologie par satellite. Pratiquement aucun récepteur de radiodiffusion public ne peut capter les fréquences supérieures à 138 MHz. C'est ainsi que nous nous bornerons à cette fréquence, limite de notre cours, du moins en ce qui concerne les émissions pour le "public en général". Néanmoins un chapitre sur les communications par satellite est inclus, car elles intéressent de plus en plus de personnes.

Comme nous l'avons précisé, la bande de radiodiffusion en VHF s'étend environ de 88 à 108 MHz. Les diffusions dans cette gamme ont lieu en FM, contrairement aux bandes d'ondes longues, moyennes, et courtes qui utilisent l'AM.

Quelle est la différence entre AM et FM? En AM (abréviation modulation d'amplitude), la modulation de fréquence (dans notre cas d'audiofréquences) influence l'*amplitude* d'une *porteuse* de radiofréquence. Deux bandes latérales apparaissent dans le processus de modulation et s'étendent des deux côtés de la porteuse. Chacune des bandes latérales contient les mêmes données sonores. La largeur de bande de la voie de modulation d'amplitude est deux fois celle de l'audiofréquence la plus élevée.

La largeur de bande qui a été convenue internationalement pour la radiodiffusion en AM est 10 kHz. Cela signifie que l'audiofréquence la plus élevée qui peut alimenter l'émetteur est 5000 Hz. La transmission radiophonique en AM est designée 10A3, 10 pour 10 kHz, et A3 pour la téléphonie en modulation d'amplitude. En FM (abréviation de modulation de fréquence) l'audiofréquence de modulation n'influe pas sur l'amplitude de la porteuse, mais bien sur la *fréquence porteuse* elle-même. Cela signifie qu'un signal FM n'a pas de porteuse: elle a une "fréquence centrale" qui est présente lorsqu'il n'y a pas de modulation.

L'audiofréquence provoque une *déviation de fréquence* de la fréquence centrale dans le processus de modulation. Pour la radiodiffusion en FM, la déviation maximale est généralement de 75.000 hertz, et cette déviation s'effectue à une audiofréquence de 15.000 hertz. La désignation de l'émission pour la FM est "F" et la téléphonie est de nouveau indiquée par le chiffre 3 qui suit le F. La radiodiffusion sonore en FM est généralement indiquée: 180 F3.

La modulation de FM de bande étroite, utilisée parfois dans les bandes de radioamateurs et dans la téléphonie commerciale, emploie une fréquence de modulation bien plus basse: 3000 Hz étant la fréquence la plus élevée. L'indication est alors 36 F3.

Appendice à la Leçon 9

Les divers genres d'émissions sont symbolisés par une combinaison de lettres et de chiffres.

1. Les lettres peuvent être:
   - A: les signaux de modulation d'amplitude
   - F: les signaux de modulation de fréquence (ou de phase)
   - P: les signaux modulés par impulsions

2. La lettre est suivie par un chiffre, qui peut être:
   - 0. absence de modulation
   - 1. télégraphie sans modulation d'audiofréquence
   - 2. télégraphie par manipulation d'une modulation d'audiofréquence(s)
   - 3. téléphonie, à double bande latérale, onde porteuse complète
   - 3a. téléphonie, bande latérale unique, onde porteuse réduite
   - 3b. deux bandes latérales indépendantes, onde porteuse réduite
   - 4. fac-similé
   - 5. télévision

3. La lettre est précédée par un chiffre qui indique la largeur de bande en kilohertz.

Exemples:
- signal d'AM, modulation maximale de 3000 Hz à double bande latérale: 6A3
- signal de FM, fréquence de modulation de 15 kHz, déviation de fréquence de 75 kHz, largeur de bande de 180 kHz: 180 F3
- télégraphie à manipulation par tout ou rien d'une porteuse modulée par une fréquence audible, code morse: 0,1 A1
- télévision, à largeur de bande vidéo de 6 MHz: 6000 A5

› Quelle est la différence entre AM et FM?

10 Plusieurs genres d'émissions de radio

Les récepteurs sont généralement équipés pour capter et traiter les signaux de radio destinés au "public en général". Comme nous l'avons vu dans la leçon précédente, ceci comprend les signaux d'AM avec une porteuse et deux bandes latérales, et les signaux de FM. Pour la démodulation de la FM, le récepteur a besoin d'un circuit complètement différent de celui pour l'AM parce que la fréquence intermédiaire de FM est généralement 10,7 MHz. Il faut donc un type spécial de détecteur (appelé un radiodétecteur). Par ailleurs, les circuits d'IF (fréquence intermédiaire) ont une largeur de bande beaucoup plus importante que celle des circuits en AM.

La largeur de bande d'un récepteur AM dépend de son âge. Les appareils modernes ont d'habitude une zone de filtrage de 6 ou 9 kHz, ce qui donne la plus haute audiofréquence reproduite entre 3 et 4,5 kHz.

Les émissions de radio en AM destinées au "grand public" sont généralement en double bande latérale avec une porteuse complète. Vous pouvez donc syntoniser les stations de radiodiffusion, de signal horaire, et les stations météorologiques qui fonctionnent à des fins maritimes ou aéronautiques.

Les dispositifs pour la réception des ondes courtes ne sont généralement pas adéquats; ceci est dû aux éléments composant les circuits de la plupart des récepteurs, basés en grande partie sur les éléments nécessaires pour la réception des ondes moyennes. La gamme de fréquences de la bande de radiodiffusion en ondes moyennes se trouve entre 525 et 1605 kHz. La limite supérieure est donc 3,1 plus élevée que la limité inférieure.

Si nous utilisons des bobines différentes pour les ondes courtes, en combinaison avec le même condensateur d'accord, et si nous choisissons 5,9 MHz comme étant la limite inférieure de fréquence, la limité supérieure de la gamme d'ondes courtes sera 3,1 X 5,9 = 18 MHz. La gamme de fréquences couverte n'est plus 1 MHz comme pour les ondes moyennes mais 12 MHz, ce qui signifie que la syntonisation est beaucoup plus critique et aussi qu'une déviation de fréquence de l'oscillateur local du récepteur, bien qu'elle soit petite, rendra l'écoute en ondes courtes plutôt désagréable. Par conséquent, pour l'écoute des ondes courtes, l'étalement de bande (étaler la gamme des ondes courtes sur 2 gammes du cadran) est quasiment impératif.

La gamme de haute fréquence offre une abondance de possibilités de réception, mais on ne peut pas tout écouter avec un récepteur normal de radiodiffusion. Il peut donc paraître que les bandes de radiodiffusion en ondes courtes soient des îles surchargées dans une mer de fréquences qui semble plutôt vide. Cependant, si vous utilisez un autre genre de récepteur qui possède toutes les caractéristiques nécessaires pour capter des signaux non modulés d'émissions en bande latérale unique, vous constaterez que cette mer est en fait bondée de différentes stations qui ne sont pas destinées à la réception par le grand public.

La bande latérale unique (BLU) est un système de modulation d'amplitude dans lequel la porteuse et une bande latérale sont supprimées pour qu'une seule bande latérale soit transmise (dont la largeur de bande est généralement 3 kHz). Pour démoduler les signaux en BLU, le récepteur doit avoir un oscillateur supplémentaire qui produit une "porteuse" artificielle pour

remplacer celle d'origine, car cette porteuse est nécessaire pour la démodulation.

Le signal de bande latérale est parfois accompagné par une porteuse réduite (par exemple de 6 ou 12 dB). Bien que cela soit généralement appelé une émission en BLU, elle est connue officiellement comme un système de modulation avec suppression de la porteuse. Ceci avec l'avantage que la porteuse produite dans le récepteur peut verrouiller la porteuse supprimée (connu comme PLL, système à boucle de verrouillage de phase) qui ainsi met automatiquement la porteuse artificielle dans l'endroit correct pour la démodulation.

Un autre terme utilisé dans les communications est BLI, bande latérale indépendante. En BLI, deux sources différentes d'audio sont modulées sur la même porteuse supprimée. Une apparaît comme la bande latérale inférieure et l'autre comme la bande latérale supérieure de la porteuse imaginaire. Un poste équipé pour la réception en BLU et ayant une touche pour choisir la bande latérale supérieure ou inférieure peut alors capter un signal différent simplement en basculant le commutateur de bande latérale supérieure/bande latérale inférieure, tout en restant syntonisé sur la même fréquence.

Soit dit en passant, les radioamateurs utilisent souvent la BLU, notamment la bande latérale supérieure des bandes amateurs de 14, 21, et 28 MHz, et la bande latérale inférieure des bandes de 7 et 3,5 MHz. La télégraphie peut être une onde entretenue dans laquelle la porteuse fonctionne avec un commutateur marche-arrêt, ou bien en onde entretenue modulée, dans laquelle la porteuse est présente et un ton fonctionne avec un commutateur marche-arrêt. Le radiotéléimprimeur (télex sur radio) utilise un manipulateur de déplacement de fréquence entre deux tons sonores de 2125 et 2975 Hz, respectivement, pour transmettre les impulsions diverses. Le "déplacement" de fréquence de 850 Hz indiqué ici est utilisé par la plupart des radioamateurs. Néanmoins, d'autres services utilisent d'autres déplacements de fréquence, par exemple 170 ou 425 Hz. Il n'existe pas encore une standardisation de la manipulation par déplacement de fréquence.

Pour un complément d'information sur les différents modes de transmission, consultez notre *Cours Complet sur le DX*, disponible gracieusement sur simple demande.

› **Pourquoi l'étalement de bande est-il une caractéristique tellement utile pour la réception des ondes courtes?**

11 Communications par satellite

L'espace de fréquence alloti aux communications par satellite pour les transmissions météorologique, fixe, aéronautique, de radio et de télédiffusion commence à partir de 136 MHz jusqu'à 275 GHz.

Ci-dessous une liste qui montre la croissance des communications par satellite dans la dernière décennie, ainsi que l'utilisation de ces relais dans l'espace.

La liste est une version simplifiée de celle trouvée dans le *Règlement des radiocommunications* 1982.

137	-	138	MHz	Exploitation spatiale (espace vers Terre) Météorologie par satellite (espace vers Terre) Recherche spatiale (espace vers Terre)
143,6	-	143,65	MHz	Recherche spatiale (espace vers Terre)
144	-	146	MHz	Amateurs Services d'amateurs par satellite
149,9	-	150,05	MHz	Radionavigation par satellite
272	-	273	MHz	Exploitation spatiale (espace vers Terre)
399,9	-	400,05	MHz	Radionavigation par satellite
400	-	406	MHz	Auxiliaires de la météorologie Météorologie par satellite (espace vers Terre) Recherche spatiale (espace vers Terre)
406	-	406,1	MHz	Services mobiles par satellite (espace vers Terre)
608	-	614	MHz	Services mobiles par satellite (uniquement dans la Région 2)
1215	-	1260	MHz	Radionavigation par satellite
1400	-	1427	MHz	Passif - exploration de la Terre et exploitation spatiale
1429	-	1429	MHz	Exploitation spatiale
1525	-	1530	MHz	Exploitation spatiale
1530	-	1660	MHz	Exploitation spatiale Services mobiles maritimes par satellite Services mobiles par satellite Services mobiles aéronautiques par satellite } espace vers Terre
1670	-	1710	MHz	Météorologie par satellite
2500	-	2690	MHz	Services de radiodiffusion par satellite (radiodiffusion sonore et télévision - réception communautaire) et services fixes par satellite
3400	-	4200	MHz	Services fixes par satellite (espace vers Terre)
4500	-	4800	MHz	Services fixes par satellite (espace vers Terre)

Au-dessus de 5000 MHz, nous citons quelques applications intéressantes:

8175	-	8215	MHz	Météorologie par satellite (Terre vers espace)
8215	-	8400	MHz	Exploration de la Terre par satellite (espace vers Terre)
11700	-	12500	MHz	Services de radiodiffusion par satellite (radiodiffusion sonore et télévision) (espace vers Terre) Services fixes par satellite Services mobiles terrestres

La partie la plus populaire du spectre pour les communications par satellite en ce moment est l'espace de fréquences entre environ 1 et 15 GHz parce que la nature y offre une fenêtre de "faible bruit". Le bruit cosmique diminue au fur et à mesure que la fréquence s'élève et disparaît presque complètement à 4 GHz. Le bruit atmosphérique radioélectrique a un minimum entre 100 MHz et 12 GHz, et augmente plutôt rapidement au-dessus de cette fréquence.

Il n'est pas étonnant de constater que beaucoup de liaisons par micro-ondes, qui utilisent de très faibles puissances, ont des fréquences attribuées dans les bandes d'ondes centimétriques et millimétriques. L'espace de fréquence attribué aux services de satellite de radio et télédiffusion est:

2,5	-	2,69	GHz	(limité aux systèmes nationaux et régionaux)
11,7	-	12,5	GHz	
22,5	-	23,0	GHz	(pas dans la Région 1)
40,5	-	42,5	GHz	
84	-	86	GHz	

Les attributions dans toutes les bandes sont réparties entre les services fixes et mobiles. Les satellites de télécommunications bien connus comme Intelsat ont des fréquences qui leur sont attribuées dans le service des satellites fixes. La gamme de 6 GHz (5,725 - 6,425) est utilisée pour le trafic au satellite, et la gamme de 4 GHz (3,4 - 4,2 GHz) est utilisée pour le trafic de retour, du satellite à la station terrestre.

La puissance du signal arrivant sur Terre, après avoir été transmis par une antenne de satellite, est très faible. Il faut attribuer ce fait à la puissance plutôt faible du transmetteur de l'antenne, car on peut seulement produire une puissance limitée à bord du satellite.

Pour la radiodiffusion sonore et la télévision, la gamme entre 2,5 et 2,69 GHz offre la possibilité d'alimenter un système d'antenne communautaire avec une antenne parabolique d'environ trois mètres de diamètre. L'équipement de réception comprend, par ailleurs, l'amplificateur de faible bruit, un convertisseur de fréquences (de 2,5 GHz à une fréquence dans les bandes de VHF ou UHF), ainsi qu'un démodulateur pour le signal vidéo, qui est une fréquence modulée lorsqu'elle arrive du satellite, alors que les stations de télévision terrestres utilisent toujours des signaux vidéo de modulation d'amplitude. La modulation de fréquence est nécessaire pour surmonter l'atténuation de transmission: la plupart des satellites de radio et télédiffusion se trouvent sur une orbite géostationnaire environ 36.000 kilomètres au-dessus de l'équateur.

Les limitations de puissance de la bande de 2,5 GHz empêcheront que cette bande soit utilisée un jour pour la réception directe à domicile. On estime qu'une gamme favorable de fréquences et une puissance de transmission de 10 kW seront nécessaires pour permettre la réception sur Terre avec de simples récepteurs. Une telle bande sera sans doute assignée dans une conférence des radiocommunications sur les transmissions par satellite. Elle se trouvera certainement entre 1,4 et 1,5 GHz.

La réception à domicile d'émissions de télédiffusion directe devra commencer en 1988 dans la bande des 12 GHz. Une petite antenne parabolique de 60 ou 90 centimètres dans une position immobile est requise pour la réception ainsi qu'un préamplificateur et un convertisseur de fréquence, afin que le signal puisse être interprété par le téléviseur. Au lieu d'une seule chaîne de télévision, environ quatre programmes en stéréo pourront être transmis. Les développements de la technologie des satellites se font tellement rapidement que bientôt il y aura une énorme quantité de nouvelles chaînes de télévision qui offriront un plus grand choix au téléspectateur ou à l'auditeur. Après l'engouement pour la nouveauté, l'équipement deviendra meilleur marché et sera accessible à plus de personnes.

- **La réception d'émissions de télédiffusion directe par le public en général est-elle déjà possible?**
- **Quel genre de trafic passe par les satellites de communication?**

12 Développements prévus dans la prochaine décennie

Les développements dans les prochains dix ans peuvent être prévus, plus ou moins, à condition que les tendances actuelles se poursuivent.

Nous avons constaté ces dernières années une croissance rapide des communications par satellite. Par conséquent, beaucoup de services nationaux de télécommunications (PTT) ont acquis une station terrestre pouvant être reliée au réseau Intelsat (International Telecommunication Satellite). En même temps par ces satellites, ils remplacent leurs services fixes. Dans beaucoup de pays, les stations de trafic fixe à ondes décamétriques ont été fermées ou sont utilisées de moins en moins. Cependant, les pays en voie de développement deviennent de plus en plus actifs dans les bandes fixes du spectre des ondes décamétriques.

Certains ont des doutes au sujet du futur de la radiodiffusion en ondes courtes, mais cela s'explique par le fait qu'ils ne sont pas conscients des possibilités uniques qu'offrent la radiodiffusion dans les bandes des ondes courtes: il s'agit d'un service radiophonique qui est direct, personnel, et rapide destiné au public en général partout dans le monde. Aucun système de satellites ne pourra remplacer les ondes courtes dans la prochaine décennie. D'ailleurs, nous doutons qu'il puisse jamais les remplacer, étant donné les divisions politiques actuelles dans le monde et aussi le fait qu'il y a 12 systèmes différents de télévision, et trois systèmes de couleur. Les téléviseurs ne peuvent généralement capter qu'un système, donc c'est vraiment la confusion.

Une croissance extraordinaire des capacités de communication est imminente. La radionavigation par satellite, les satellites pour l'exploitation météorologique ou terrestre, les satellites de communication, et les satellites de télédiffusion directe sont de plus en plus nombreux, et le projet européen spatial «Ariane et la navette spatiale américaine ont des commandes pour plus de deux ans.

La nouveauté de la fibre optique (un matériau proche du verre, parcouru d'impulsions lumineuses générées par laser) offrira des possibilités de communication à large bande sur des distances plutôt petites. Les réseaux câblés, qui ont commencé localement, vont devenir des systèmes régionaux voire nationaux pour la distribution directe d'informations et de divertissements à domicile - et plus tard - du domicile vers le centre. Prochainement, les ordinateurs individuels permettront aux gens de travailler, de communiquer en restant chez soi. Ces possibilités ne relèvent pas de la science-fiction, mais la réalité sera sans doute différente de celle que nous imaginons aujourd'hui.

L'ordinateur, avec les capacités impressionantes de sa mémoire, aura une influence profonde sur la vie dans le futur. Beaucoup de procédés s'effectueront à l'aide de l'ordinateur ou seront entièrement contrôlés par l'ordinateur. Déjà les ordinateurs sont beaucoup plus omniprésents que nous le pensons. Le développement des ordinateurs est lié à la croissance des communications. Les transferts de données informatisées requièrent des communications fiables, par exemple celles offertes par la fibre optique et par les satellites de communication.

A la longue, l'explosion des communications affectera tout le monde. Espérons qu'elle sera en mesure de mieux nous informer sur ce qui se passe dans le monde qui nous entoure. Elle aidera peut-être à un peu mieux nous comprendre les uns les autres. Dans ce cas, nous allons vers un monde meilleur.

REPONSES

Leçon 2. a) Lodge, Marconi, Fleming, de Forest.

b) La radio s'est développée en mer, comme les histoires de la Leçon 2 le montrent.

Leçon 3. La Conférence d'Altantic City était d'une importance spéciale pour les utilisateurs des bandes de radiodiffusion à ondes décamétriques (Hautes Fréquences). Les décisions importantes de la Conférence étaient: l'établissement de l'IFRB, une subdivision universelle du spectre radio, une table internationale d'appels de détresse, une division du monde entre trois "Régions" de radio, et l'ordre de créer de nouveaux plans à long terme pour les allotissements des fréquences avant la conférence suivante.

Leçon 6. Les bandes tropicales de radiodiffusion ne sont pas attribuées de façon exclusive, car dans toutes les régions, les autres services (dans la région tropicale) utilisent les mêmes gammes de fréquences. Cependant, dans les régions tropicales, l'attribution à la radiodiffusion a priorité.

Leçon 7. a) Pour l'onde moyenne longue, l'onde de sol est bien plus importante que l'onde ionosphérique. La couverture diurne est considérable (le rayon du circuit de couverture circulaire a autant de kilomètres que la longueur d'onde en mètres), mais la couverture nocturne est plus restreinte, en raison des zones de fading entre l'onde de sol et l'onde ionosphérique, ainsi que de l'absorption de l'onde ionosphérique.

b) La couverture diurne de l'onde moyenne courte est petite, mais la couverture de l'onde ionosphérique après le coucher du Soleil est d'environ 1000 kilomètres.

Leçon 8. a) Les services fixes et les services mobiles maritimes.

b) La plupart des notifications de fréquences et des enregistrements de fréquences ont lieu selon l'Article 12 du *Règlement des radiocommunications*. L'IFRB doit être averti une fois qu'une nouvelle fréquence a été choisie par une station ou un pays. Si la fréquence ne produit pas de brouillages préjudiciables à d'autres services pendant une période déterminée (par exemple, 60 jours), la fréquence est enregistrée et à partir de ce moment, elle est protégée. La procédure de l'Article 17 est valable pour la radiodiffusion à ondes décamétriques. Les administrations doivent présenter leurs grilles prévisionnelles (fréquences, horaires, puissances de transmission, azimut d'antenne, et régions cibles) quatre mois à l'avance à l'IFRB. Ensuite, le Comité dresse le *Fichier de référence international des fréquences à ondes décamétriques*. Les modifications de fréquences sont aussi signalées à l'IFRB, alors que la surveillance des émissions confirme l'utilisation des fréquences. A la fin de chaque "horaire saisonnier" (quatre saisons par an), l'IFRB dresse l'*Horaire de radiodiffusion à ondes décamétriques*, qui est envoyé aux administrations.

Leçon 9. AM = Modulation d'Amplitude. L'amplitude de la porteuse varie avec le rythme de l'audiofréquence modulée. Dans la téléphonie à double bande latérale (A3), deux bandes latérales apparaissent, chacune contenant les mêmes données sonores. Généralement chaque bande latérale a une largeur de 5000 Hz et transmet l'audiofréquence jusqu'à 5000 Hz. La largeur de bande totale du signal est donc 10 kHz. FM = la fréquence porteuse même est deviée par l'audiofréquence modulée tandis que l'amplitude reste constante. Comme il n'y a pas de porteuse fixe, nous appellons "fréquence centrale" la fréquence qui est rayonnée lorsqu'il n'y a aucune modulation. La déviation de fréquence du signal audio de 15.000 Hz est standardisée à 75 kHz.

Leçon 10. La syntonisation devient beaucoup trop critique si la largeur de bande n'est pas appliquée. Les stations se trouvent trop proches les unes des autres sur le cadran.

Leçon 11. a) Non. Même si la fréquence se trouvait sur votre cadran, l'intensité de champ du signal du satellite serait trop insuffisante pour permettre la réception. Dans la région européenne, des satellites de télédiffusion directe doivent être lancés en 1988. Ils opéreront dans la bande de 12 GHz et pourront être captés avec un équipement spécial ajouté au téléviseur et avec une petite antenne parabolique.

b) Le trafic dans les bandes fixes, les appels téléphoniques, la transmission de données, les messages de télétype, etc.